

# 정책기반 네트워크 관리 환경에서 퍼지 컨트롤러를 이용한 적응적 QoS 정책 제어

임 형 진<sup>\*</sup> · 정 종 필<sup>\*\*</sup> · 이 지 형<sup>\*\*\*</sup> · 추 현 승<sup>\*\*\*\*</sup> · 정 태 명<sup>\*\*\*\*\*</sup>

## 요 약

본 논문에서는 정책기반의 IP 네트워크 관리구조에서 임의의 노드에 유입되어지는 트래픽에 대하여 퍼지 추론 방식을 사용한 어드미션 제어 구조를 설계하였다. 제안된 제어구조는 기존 정의된 정책 요구수준과 네트워크 상태에 따라 자원 할당을 결정하는 방식을 사용하였다. 이는 기존의 바이너리 방식의 정책 적용방식을 개선하여 사전에 정의된 임의의 QoS 정책에 대하여 예측할 수 없는 네트워크의 상태에 따라 적응적인 어드미션 제어를 제공함으로써 네트워크의 자원을 효율적으로 사용할 수 있도록 하였다. 본 논문에서 설계한 퍼지 제어기를 통하여 제한된 환경에서의 시뮬레이션을 수행한 결과 비퍼지 환경에 비하여 트래픽의 패킷에 따라 평균 26%의 패킷 거부율을 향상하였고, 이는 퍼지 컨트롤러에 의해서 네트워크의 상태에 따라 비퍼지 환경에서의 수락/거절 동작이 아닌 소프트한 적응성을 보여주었기 때문이다.

## Adaptive QoS Policy Control using Fuzzy Controller in Policy-based Network Management

Hyung J. Lim<sup>\*</sup> · Jongpil Jeong<sup>\*\*</sup> · Jeehyoung Lee<sup>\*\*\*</sup>  
Hyunseung Choo<sup>\*\*\*\*</sup> · Tai M. Chung<sup>\*\*\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

This paper presents the control structure for incoming traffic from arbitrary node to provide admission control in policy-based IP network management structure using fuzzy logic control approach. The proposed control structure uses scheme for deciding network resource allocation depending on requirements predefined-policies and network states. The proposed scheme enhances policy adapting methods of existing binary methods, and can use resource of network more effectively to provide adaptive admission control, according to the unpredictable network states for predefined QoS policies. Simulation results show that the proposed controller improves the ratio of packet rejection up to 26%, because it performs the soft adaption based on the network states instead of accept/reject action in conventional CAC(Connection Admission Controller).

키워드 : 네트워크 관리 및 제어(Network Management and Control), 정책기반네트워크 관리(Policy-based Network Management), 적응적 QoS 제어(Adaptive QoS Control), 퍼지 추론 시스템(Fuzzy Inference System)

## 1. 서 론

인터넷은 TCP/IP를 근간으로하는 네트워크의 연결구조를 가지고 있다. 이러한 IP네트워크에서 전송되는 트래픽은 비결정적이고 best effort한 전송특성을 가지게 된다. 현재의 순수한 인터넷 구조하에서는 지연에 민감한 멀티미디어의 응용에 대한 QoS를 제공하지 못한다. 이에 IP 네트워크에서 QoS를 제공하기 위한 메카니즘으로서 차별화된 서비스[1]가 개별 패킷들에 대한 클래스 기반의 서비스 레벨을 제공하기

위하여 제안되었다. 또한 InterServ[2,3]는 플로우 기반의 보장된 QoS를 제공하기 위하여 RSVP(Resource ReserVation Protocol)와 같은 시그널링 프로토콜의 사용을 통한 자원 예약 메카니즘의 하나로 제안되었다. 이러한 QoS제공을 위한 아키텍처는 상호 연결된 도메인간이나 전체 도메인에 QoS를 제공하기 위하여 자원 제공에 대한 일관성을 유지해야 할 필요가 있다. 따라서 서비스 질을 유지하기 위해서는 자원의 이용률의 증가를 억제하기 위한 메카니즘들이 필요하게 되었으며, 이러한 메카니즘들은 네트워크의 에지에서 트래픽의 분류에 의한 제어를 통하여 수행되고, 네트워크의 상황에 따른 빈번한 재설정을 요구한다.

이러한 관리 문제에 대한 적절한 접근 방법으로 정책기반의 네트워크 관리가 제안되게 되었다. 이는 DiffServ나 InterServ 구조처럼 QoS를 보장하기 위한 인프라에 사전에

\* 본 논문은 보건복지부 보건의료기술진흥 사업회 지원에 의하여 이루어진 것임(과제번호 : 02-PJ3-PG6-EV08-0001).

<sup>\*</sup> 정 회 원 : 성균관대학교 대학원 컴퓨터공학과

<sup>\*\*</sup> 준 회 원 : 성균관대학교 대학원 컴퓨터공학과

<sup>\*\*\*</sup> 정 회 원 : 성균관대학교 컴퓨터공학과 교수

<sup>\*\*\*\*</sup> 총신회원 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수

<sup>\*\*\*\*\*</sup> 총신회원 : 성균관대학교 응급의료 정보시스템 개발 센터

논문접수 : 2004년 1월 30일, 심사완료 : 2004년 5월 20일

정의된 정책에 기반한 제어 요소를 도입하기 위한 시도에서 제안되게 되었다. 그러나 정책 기반 네트워크에서는 사전에 정의된 정책들이 네트워크에서 제대로 수행되어지는지 모니터링에 대한 요구사항이 발생하게 되고, 예측할 수 없는 네트워크 트래픽에 대한 어떤 정적의 정책을 수립한다는 것은 관리자에게 부담을 주게 된다. 따라서, 사전에 정의된 정책에 위배되는 모니터링 결과가 발생할 경우 재설정이나 정책의 수정을 통해서 관리자에 의해 네트워크의 상황에 맞게 정책을 적용해야하는 요구가 발생한다[4].

본 논문에서는 정책기반 IP 네트워크 관리구조에서, 퍼지 추론 방식을 사용한 어드미션 제어(admission control) 구조를 설계하였다. 2장에서는 퍼지 이론에 대한 소개와 기존에 제안되었던 네트워크 분야에서의 퍼지 접근 사례를 살펴보고, 정책기반 네트워크에서의 QoS 제어구조를 설명하였다. 3장에서는 퍼지 제어기에 대한 세부적인 제어 구조와 알고리즘을 설명하였다, 그리고 4장에서는 QoS 정책에 대한 퍼지 제어 효율을 검증하기 위한 시뮬레이션을 하였다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 퍼지이론

퍼지이론이란 애매성을 다루는 이론으로서 1965년 미국 캘리포니아 버클리 대학의 L. A. Zadeh 교수가 학술전문지 Information & Control에 발표한 퍼지집합(Fuzzy Sets)이란 논문에서의 '아름다운 여성의 집합', '큰 수의 집합' 등 경계가 애매한 집합을 퍼지집합이라고 명하였다[10, 11]. 퍼지이론의 기본을 이루는 퍼지집합은 보통집합(Crisp Set)의 확장개념으로서 어떤 사실이 얼마나 정확한가를 사람이 느끼는 감각에 맞추어 확률로 나타낸다. 따라서 다루어지는 변수도 숫자가 아닌 언어변수(Linguistic Variable)를 사용하며, 이러한 개념을 이론화한 퍼지는 불확실한 집합을 그대로 표현하는데 효과적이다[14].

퍼지집합에서는 원소의 소속정도를 멤버쉽함수(Membership Function)에 의해서 표현할 수 있다. 반면에, 퍼지집합에서는 집합의 경계가 애매하여 '0', 또는 '1'이 아닌 구간 [0, 1]로 '0'과 '1'사이의 경계를 표현할 수 있으며, 주어진 퍼지규칙과 사실의 모임으로부터 추론(Inference)과정을 거쳐 논리적 퍼지이론은 연산에 있어서 복잡한 수학적 모델을 필요로 하지 않고, 단순한 방법의 연산 과정만으로 가능하므로 하드웨어 구현이 쉽고, 연산이 병렬 처리되므로 제어 속도가 빠르다는 장점이 있다. 그러나 기존 응용에 소프트웨어 기반의 퍼지 연산을 도입할 경우 부가적인 계산시간을 유발하게 되므로 하드웨어적인 연산기 도입을 통해 오버헤드를 줄이도록 해야한다.

### 2.2 퍼지제어 접근 사례

퍼지이론의 응용 사례는 초기에는 퍼지제어를 중심으로 한 공학적인 분야에 많았지만 의료 진단이나 주식투자용 전문가 시스템 등에서도 나타나고 있는것처럼 네트워크에서의 퍼지 응용 사례를 보면, 첫 시도로 Tcha 등이 퍼지집합 이론을 주파수 대역폭 할당에 적용한 것이 시초인 것으로 나타났으며[5], Cameron Braun 등이 ATM 네트워크에서 ABR 서비스 클래스에 대한 트래픽 제어 문제에서 퍼지추론을 이용하여 전송률 제어방식을 개선하였다[6]. 또한 R. Cheng은 ATM 네트워크에서 파라미터 구성을 위한 퍼지제어기를 제안하였고, 최근에는 정동성[7] 등이 ATM 네트워크에서의 버퍼의 임계값 예측을 위한 퍼지제어 알고리즘을 제안하였었다. 그러나 이러한 작업들은 네트워크에서의 대부분에 파라미터를 제어함에도 불구하고 QoS 보장을 위한 메카니즘을 내재하는 ATM 네트워크에서 연구되었다. 반면, Vasilakos[8]는 IP네트워크에서의 QoS 보장을 제공하기 위한 최적의 경로를 정의하기 위한 퍼지제어기를 소개하였었고, Marcial Porto[9]는 정책기반 네트워크 관리 구조하에서 DiffServ 도메인의 QoS 제공에 대한 퍼지추론 방식을 제안하였으나 네트워크의 상태변화를 유발하는 다양한 인자들을 고려하지 않았다.

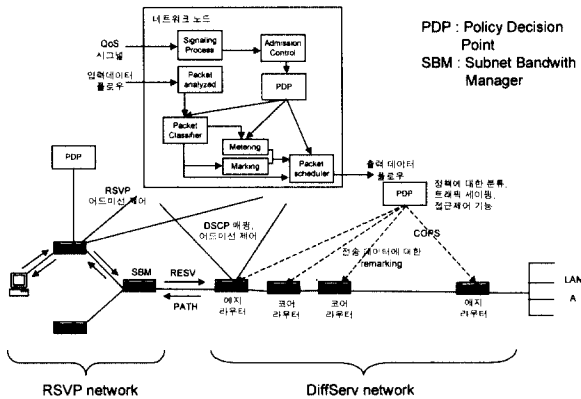
본 논문에서는 정책기반의 IP네트워크 관리구조에서, 네트워크의 임의의 노드가 SNMP(Simple Network Management Protocol)를 이용한 네트워크 모니터링을 통하여 현재의 자원 상태를 파악하고, 유입되는 트래픽에 대하여 사전에 정의된 정책의 수행여부를 결정하는 퍼지제어기를 제안하였다. 이는 DiffServ 네트워크의 에지 노드에 유입되는 트래픽이나, IntServ에서의 자원요청 시그널에 대한 어드미션 제어 수행시 정의된 정책과 네트워크의 상태에 따른 정책 충돌(policy conflict)을 적응시켜줄 수 있는 퍼지 추론을 통한 제어능력을 가진다.

### 2.3 PBN에서의 QoS 제어구조

서비스 제공을 위해 정의되는 정책은 장비가 인식가능한 명령어로 변환되어야 장비에서 인식되어질 수 있다. 그러나 다른 벤더(vendor)의 제품들로 구성된 네트워크 환경에서는 각각의 장비는 벤더에 의존적인 설정 방식으로 구성되어야 한다[18]. 따라서, 정책기반 네트워크(Policy-Based Network Management) 관리기술은 이와 같이 네트워크 노드와 네트워크의 복잡한 구성 관리를 축소하기 위해서 기원하였다. 이러한 대표적인 응용분야가 IP네트워크에서의 QoS 제어이다.

IETF에서는 관련된 Policy 워킹그룹을 통해 표준화를 진행하고 있다[19]. PDP(Policy Decision Point)는 PBN(Policy-Based Network) 시스템 구조에서 대부분의 제어를 수행하게 되는 핵심 요소가 된다. (그림 1)은 IntServ와 DiffServ를 이

용한 IP네트워크의 대표적인 QoS 제공 메커니즘을 나타내고 있다[4].



(그림 1) PBN에서의 QoS 제어구조

네트워크 노드는 패킷의 수신을 통해서 혹은 시그널링 프로토콜을 통해서 어드미션 제어를 수행해야 한다. 이때 제어 모듈은 현재 노드의 자원 모니터링 상태에 따라, 정책 저장소(Policy repository)로부터 해당 정책과의 협의를 통하여 요청된 패킷이나 플로우의 처리 가능성 여부를 결정하게 된다. 본 논문에서는 정책기반 네트워크 구조에서 네트워크의 자원 이용률에 따른 QoS 보장을 위해 퍼지제어기를 이용해 각 노드에서의 PDP 역할을 수행하는 어드미션 제어 모듈을 설계한다.

### 3. 퍼지 제어구조

#### 3.1 Intelligent Admission Controller

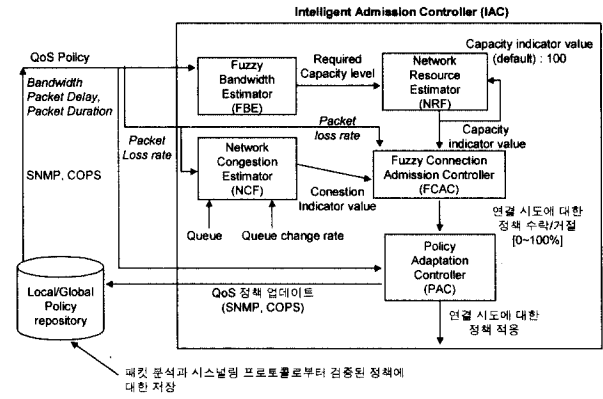
본 절에서는 네트워크 상황에 적절한 적응 능력을 제공하는 IAC(Intelligent Admission Controller)에 대한 설계를 제안한다. (그림 2)는 FBE, NCE, NRE, FCAC, PAC로 구성되는 IAC구조를 나타낸다.

Fuzzy Bandwidth Estimator(FBE)는 어드미션 제어를 요청한 policy가 packet delay, packet duration, packet rate limit의 파라미터들로부터 산출되어지는 사전에 정의한 요구되는 대역폭을 평가하는 모듈이다. 파라미터들은 각각  $R_d$ ,  $R_{du}$ ,  $R_r$ 로서 표기한다.

Network Congestion Estimator(NCE)은 SNMP[22]를 이용한 네트워크 모니터링을 통해 현재 queue 길이, queue 길이 변화율, packet loss rate의 값을 통해 buffer-threshold 방식[12]을 기반으로 congestion indicator 값을 산출해내는 역할을 하며  $C_i$ 로 표기한다.

Network Resource Estimator(NRE)는 SNMP를 통한 모니터링 값을 통하여 현재 노드에서 처리되어지고 있는 트래픽 처리량을 산출하게 되며, 유입되는 트래픽에서 요구하

는 정책이 현재의 처리 용량에 의해 수락가능성 여부를 산출하는 기능을 하고  $C_a$ 로 표기한다.



(그림 2) Intelligent Admission Controller

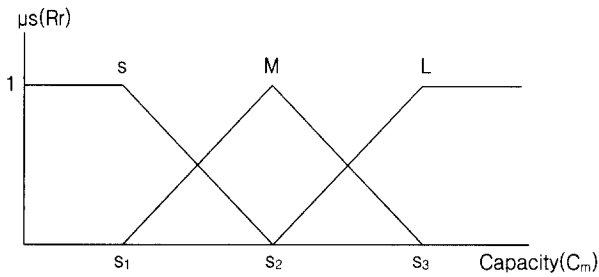
Fuzzy Connection Admission Controller(FCAC)는 NRE와 NCE를 통한 입력 값으로서 Congestion indicator value와 Capacity indicator value 그리고 Feedback performance[13] 값인 packet loss ratio(pl)를 통해서 요청된 정책의 자원 할당에 대해 네트워크 상황에 따른 수락 수준을 크리스프(crisp) 값으로 산출하게 되며  $z$ 로 나타낸다. 이 값을 입력값으로 하는 Policy Adaptation Controller(PAC)는 PBN 시스템에서의 PDP역할을 하는 모듈로서 유입되어지는 트래픽의 자원할당 요청 정책들의 파라미터 값과 현재의 네트워크 상황에 따라 퍼지추론에 의한 적절한 요구수준으로 정책 파라미터들을 적용하는 모듈이다. 따라서 적용된 정책과 관련한 파라미터 값들을 로컬 정책 저장소에 SNMP나 COPS(Common Open Policy Service)[20] 프로토콜을 통하여 갱신하는 역할을 하게 된다. 제안된 퍼지 제어기는 사전에 정의된 정책에 대하여 네트워크 상황을 고려하여 적합성 여부를 추론하고, 요구되는 정책에 네트워크 상황이 적절하지 않을 때 적합한 정책 수준으로 적용하는 유연한 제어구조를 가질 수 있게 된다.

#### 3.2 Fuzzy Bandwidth Estimator(FBE)

FBE는 Guegrin[15]에 의해 제안된 네트워크 노드의 트래픽 용량을 산정하는 퍼지 구현방식으로서 트래픽 제어기에 사용되어진다. FBE를 구성하기 위해 전문가 지식(expert knowledge)[15-17]에 따라서 FBE는 요청된 트래픽에 해당하는 정책 속성들의 다양한 값들에 대하여 입력값으로서  $R_r$ ,  $R_d$ ,  $R_{du}$ 를 트래픽에 대한 언어변수로서 정의하고, FBE를 통해 평가된 트래픽 서비스 수준을 출력 언어변수로서  $C_e$ 로 표기한다.

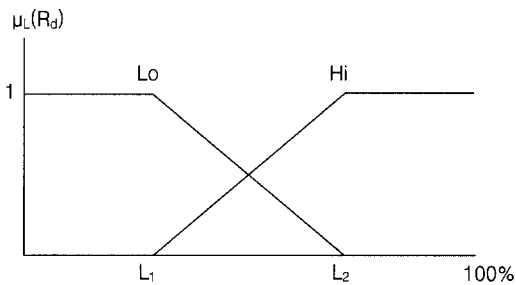
각 입출력 변수의 퍼지화를 위한 멤버쉽함수의 생성을 알고리즘적 표현으로 하면,  $R_r$ ,  $R_d$ ,  $R_{du}$ 에 대한 멤버쉽함수는 각각  $T(R_r) = \{Small(S), Medium(M), Large(L)\}$ ,  $T(R_d) =$

{Non-Sensitive(nS), Sensitive(S)} 그리고  $T(R_{du}) = \{Short(Sh), Medium(Me), Long(Lg)\}$ 와 같은 언어변수로서 기술하고, (그림 3), (그림 4), (그림 5)에 나타내고 있다.  $Tri(x; a1, a2, a3)$ 는 Triangular 멤버쉽함수,  $Tra(x; a1, a2, a3, a4)$ 는 Trapezoid 멤버쉽함수 타입을 의미한다. 각 파라메타들의 퍼지 함수 값의 경계에서 근사를 위해 Triangular 멤버쉽함수 타입을 사용하였고, 경계가 발생하지 않는 범위에는 Trapezoid 멤버쉽함수 타입을 사용하였다.



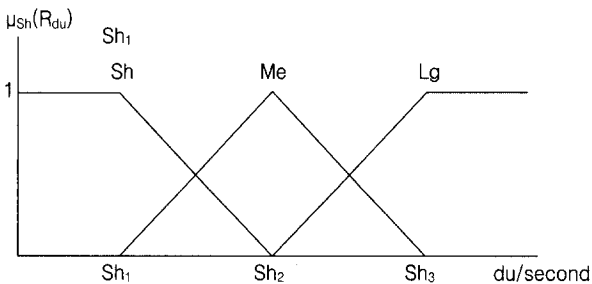
$$T(R_r) : \mu_s(R_r) = Tra(x; 0, 0, S_1, S_2) \\ = Tri(x; S_1, S_2, S_3) \\ = Tra(x; S_2, S_3, C_M, C_M)$$

(그림 3) rate limit( $R_r$ )에 대한 멤버쉽함수



$$T(R_d) : \mu_L(R_d) = Tra(x; 0, 0, L_1, L_2) \\ = Tra(x; L_1, L_2, 100, 100)$$

(그림 4) packet delay( $R_d$ )에 대한 멤버쉽함수



$$T(R_{du}) : \mu_{sh}(R_{du}) = Tra(x; 0, 0, sh_1, sh_2) \\ = Tri(x; sh_1, sh_2, sh_3) \\ = Tra(x; sh_2, sh_3, du, du)$$

(그림 5) packet duration( $R_{du}$ )에 대한 멤버쉽함수

출력 언어변수  $C_i(i = 1, \dots, 6)$ 는 Capacity Estimation의  $i$  번째 수준을 의미하고 추정된 용량에 대한 용어들은  $T(C_i) = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6\}$ 로서 기술한다. 멤버쉽함수들의 위치와 제어규칙들의 구조는 다수의 입력값들로부터 최적화할 수 있다. FBE의 룰(Rule) 구조는 <표 1>에서 보여진다. 입력 변수들과의 상관 관계를 통하여 가장 높은 수준의 정책요청  $C_1$ 로부터  $C_6$ 까지의 수준을 구분하여 할당하였다. 예로서 packet rate limit( $R_r$ ) 요구가 크고, packet delay( $R_d$ )가 민감한 정책에 대하여는 높은 수준을 할당하였다.

<표 1> Fuzzy Bandwidth Predictor의 룰 구조

$w_i$	$R_r$	$R_d$	$R_{du}$	$C_i$
$w_0$	S	nS	Sh	$C_2$
$w_1$	S	nS	Me	$C_2$
$w_2$	S	nS	Lg	$C_3$
$w_3$	S	S	Sh	$C_1$
$w_4$	S	S	Me	$C_1$
$w_5$	S	S	Lg	$C_1$
$w_6$	M	nS	Sh	$C_4$
$w_7$	M	nS	Me	$C_5$
$w_8$	M	nS	Lg	$C_5$
$w_9$	M	S	Sh	$C_1$
$w_{10}$	M	S	Me	$C_2$
$w_{11}$	M	S	Lg	$C_3$
$w_{12}$	L	nS	Sh	$C_4$
$w_{13}$	L	nS	Me	$C_5$
$w_{14}$	L	nS	Lg	$C_6$
$w_{15}$	L	S	Sh	$C_1$
$w_{16}$	L	S	Me	$C_2$
$w_{17}$	L	S	Lg	$C_3$

FBE의 추론 과정은 Matching, Inferencing, Combination, Defuzzification을 통하여 얻어질 수 있으며, Combination은  $\mu(w_i) = \min(\mu_S(R_p), \mu_L(y), \mu_{pl}(R_m), \mu_h(T_p))$  연산으로 정의하고, Defuzzification을 위하여 CoA(Center of Area) 방식을 사용하였다. Area는 Combination 결과인 개별  $w_i$ 의 멤버쉽함수 면적을 의미한다.

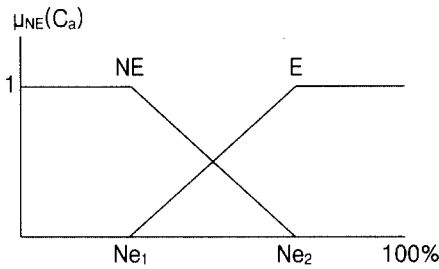
$$C_i(CoA) = \frac{\sum_i^n Area(C_i) * CoA(C_i)}{\sum_i^n Area(C_i)} \quad (1)$$

### 3.3 Fuzzy Connection Admission Controller(FCAC)

앞서 2.2절에서 언급한 기존의 퍼지로지 기반의 제어 시스템들이 애매모호한량에 기반한 계산을 수행하고 링귀스틱 규칙들을 모델링하여, 'soft' threshold를 이행하여 인텔리전트 결정을 할 수 있는 능력을 증명하였다. 이러한 접근 방식은 전문가 지식을 통한 결정 방법을 에뮬레이트하고, 정확한 수학적 모델이 비실용적이거나 이용가능하지 않을 때 특히 유용했다.

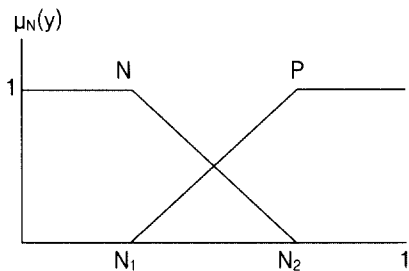
본 논문에서 정의하는 인텔리전트 CAC 컨트롤러로서 FCAC 구성은 FBE를 통해 얻어진 트래픽의 평가수준으로서  $C_i$ 와 NRE에서 모니터링된 노드의 현재 처리 용량을 통한 현재의 용량 수준  $C_a$ , NCE로부터 얻어진 Congestion 상태에 대한 산정 값( $y$ ), 노드의 자원 이용률에 대한 피드백으로서 packet loss rate( $pl$ )를 통하여 패킷의 수락(Accept)과 거부(Reject) 여부를 결정하는 언어변수  $z$ 를 출력하게 된다.

기존 논문들이 제안한 CAC 방법들에서, 새로운 연결에 대하여 이용가능한 용량을 설명하기 위하여 사용된 용어들은 'Not Enough'와 'Enough' 그리고 이용 가능한 용량에 대한 용어들을 차용하여 NRE로부터 출력되는 값에 대하여 멤버쉽함수  $T(C_a) = \{Not\ Enough(NE),\ Enough(E)\}$ 를 구성하는 것으로서 기술한다. Congestion 상태에 대한 산정 값은 멤버쉽함수  $T(y) = \{Negative(N),\ Positive(P)\}$ 로 기술하며, 현재 Congestion 정도가 증가상태인지 감소상태인지를 나타내게 된다. 노드에서의  $pl$ 은 네트워크 모니터링을 통하여 얻게 되며, 멤버쉽함수  $T(pl) = \{Satisfied(S),\ Not\ Satisfied(NS)\}$ 로 기술한다.



$$T(C_a): \mu_{NE}(C_a) = Tra(x; 0, 0, Ne_1, Ne_2) \\ = Tra(x; Ne_1, Ne_2, 0, 0)$$

(그림 6) Capacity Indicator( $C_a$ )에 대한 멤버쉽함수

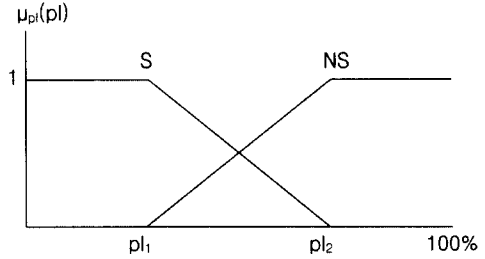


$$T(y): \mu_N(y) = Tra(x; 0, 0, N_1, N_2) \\ = Tra(x; N_1, N_2, 1, 1)$$

(그림 7) Congestion( $y$ )에 대한 멤버쉽함수

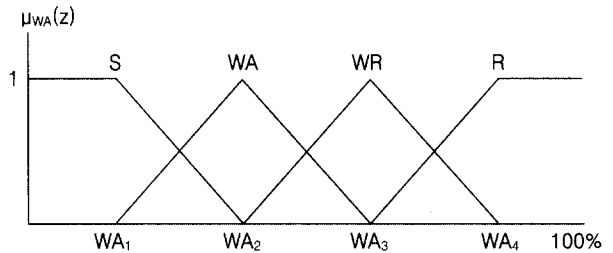
FCAC를 통하여 출력되는 값은 소프트한 어드미션 제어를 제공하기 위하여 수락과 거부뿐만 아니라 약한 수락(Weak Accept)과 약한 거부(Weak Reject)도 수락/거부 결정을 위하여 사용된다. 그러므로 출력 언어변수의 멤버쉽함수는  $T(z) = \{Accept(A),\ Weak\ Accept(WA),\ Weak\ Rejec(WR),$

Reject(R)}로서 기술된다.  $T(C_a)$ ,  $T(y)$ 와  $T(pl)$ ,  $T(z)$ 에 대한 멤버쉽함수는 다음과 같이 정의된다.



$$T(pl): \mu_{pl}(pl) = Tra(x; 0, 0, S_1, S_2) \\ = Tra(x; S_1, S_2, 100, 100)$$

(그림 8) Packet loss rate( $R_r$ )에 대한 멤버쉽함수



$$T(z): \mu_{WA}(z) = Tra(x; 0, 0, WA_1, WA_2) \\ = Tri(x; WA_1, WA_3, WA_2) \\ = Tri(x; WA_2, WA_3, WA_4) \\ = Tra(x; WA_3, WA_4, 100, 100)$$

(그림 9) 수락률( $z$ )에 대한 멤버쉽함수

멤버쉽함수  $WA_{i_{max}} (=100\%)$ 는 네트워크에서 수락하게 될 패킷의 최대 백분율을 의미한다.  $Ne_i$ ,  $N_i$ ,  $pl_i$ , 그리고  $WA_{i_{max}}$ 는 시뮬레이션을 통하여 기준값들을 조절하였으며, 실제 네트워크에서는 네트워크의 상황에 따라 모니터링 결과를 바탕으로 설정된다. 노드로 유입되어지는 정책에 대한 자원할당 요구는 현재의 네트워크의 상태가 처리 용량의 수락 임계치(acceptance threshold)보다 클 때 FCAC 컨트롤러의  $z$  출력값 만큼의 비율로 조정된 정책을 적용하게 된다. FLCAC의 제어 불들은 아래의 <표 2>와 같이 구성하였다.

<표 2> FCAC 컨트롤러의 룰 구조

$w_j$	$C_a$	$y$	$pl$	$z$
$w_0$	NE	N	S	WR
$w_1$	NE	N	NS	R
$w_2$	NE	P	S	WR
$w_3$	NE	P	NS	R
$w_4$	E	N	S	WA
$w_5$	E	N	NS	WR
$w_6$	E	P	S	A
$w_7$	E	P	NS	WA

FCAC의 추론 과정은 Matching, Inferencing, Combination, Defuzzification을 통하여 얻어질 수 있으며, Combination은  $\mu_{WA}(z) = \min(\mu_{NE}(Ca), \mu_N(y), \mu_{pl}(y))$ 로 정의하고, Defuzzification을 위하여 CoA(Center of Area) 방식을 사용하여 3.2절의 식 (1)과 같이 산정한다.

새로운 트래픽 정책에 대한 자원 할당 요구는 현재의 네트워크 처리 용량이 충분하지 않을 경우 거절될 것이다. 그러나 예외적으로 congestion 정도가 증가상태( $y = N$ )에 있으나, packet drop rate가 만족상태( $pl = S$ )에 있을 경우 약하게 거절될 것이다. 패킷의 거부는 반드시 congestion을 통하여서만 발생하는 것은 아니지만, congestion 정도가 높아질 때는 반드시 패킷 거부가 발생할 수 있다[21]. 네트워크 처리 용량이 충분할 경우 자원 할당 요구는 수락될 것이다. 그러나 congestion 정도가 증가상태이고, 패킷의 drop율이 올라갈 때는 약하게 수락될 것이다. congestion 정도가 감소상태이지만, 패킷의 drop율이 올라갈 때는 congestion 상태이거나 혹은 다른 에러를 발생시킬 수 있는 원인이 존재하기 때문에 약하게 수락할 수 있다.

**4. 시뮬레이션과 결과 분석**

본 논문에서 제안한 지능형 어드미션 컨트롤러는 정책 기반 네트워크 구조에서 임의의 노드에 유입되어지는 트래픽에 대하여 퍼지 추론방식을 사용하여 네트워크의 상태와 트래픽 요구정책에 따라 적응형 어드미션 제어를 제공하는 제어구조를 설계하였다.

퍼지 컨트롤러에서 제공되는 제어 능력에 대한 성능분석을 위하여, 어드미션 제어 기능을 하는 노드에 유입되는 트래픽의 양을 노드가 수용할 수 있는 용량의 한계치를 초과하도록 점진적으로 증가시키며 노드에서 처리되는 제어 결과를 관찰하였다. 이를 위해 관리자에 의해 사전 정의된 개별 트래픽 정책에서 요구하는 서비스 수준에 대한 정책을, 가상 시나리오 환경에서 구성된 노드에 대한 입력값으로 설정하였으며, 출력값으로서는 요구되어지는 트래픽 정책의 서비스 수준에 대해서, 현재 congestion 상태와 패킷의 drop율을 고려한 네트워크의 상태와 노드의 현재 패킷 처리 용량에 의해 적용되어지는 제어 결과를 출력값으로 하였다. 가상 시뮬레이션의 입·출력을 처리하는 퍼지 제어기는 C언어로서 알고리즘을 구현하였으며, 제어기능을 하는 노드의 최대 처리 용량은 100Mbps로서 하나의 입·출력 포트를 갖는 노드로 설정하였다.

정책기반 네트워크에서의 트래픽 제어를 위해서는 현재 요구되어지는 정책에 대한 서비스 제공뿐 아니라 현재 수행되어지고 있는 정책들에 대한 적절한 수행여부를 모니터링하고 조정하는 기능을 수행해야 한다. 따라서, 본 논문에서 정의한 가상 시나리오에 따라 적응형의 패턴을 보이는

노드에서의 제어는, 유입되어지는 트래픽 정책으로부터 노드에 대한 자원 요청에 대하여 노드에서의 congestion 정도가 높은 상황에서 거부하지 않고, 초기에 전체 서비스를 위한 요구자원을 할당하지 못하더라도 노드 상황에 따라 적응적으로 자원을 할당하고 네트워크의 상태가 호전되었을 때 요청된 나머지 자원을 할당할 수 있다고 가정하였다.

입력값으로서 트래픽 정책은 관리자에 의해 사전에 정의되어지게 되며, 네트워크의 노드 상태는 SNMP에 의한 모니터링을 통하여 얻어질 수 있다. (그림 10)은 시뮬레이션에서 사용될 입력값으로 주어지는 트래픽 서비스 요구에 대한 정책테이블을 나타내고 있다.

Source IP Address	Source Port	Protocol	Dest IP Address	Dest port	CoS	Delay (ms)	Percentile (%)	Duration (time)	Rate limit (Mbps)	Overflow
12.0.0.3	256	6	*	265	Precedence	100	91	1hour	10	Best Effort
*	*	8	12.0.0.3	300	Precedence	300	99	1day	12	Best Effort
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
12.0.0.3	11	6	11.0.0.0/24	17	Default	500	100	1month	50	Drop

(그림 10) 트래픽 서비스를 위한 정책 테이블

시뮬레이션 결과 노드가 처리할 수 있는 용량에 대한 임계치에 가까운 트래픽이 유입 될 때, 기존의 비퍼지 환경에서는 서비스 요구량에 대한 패킷 drop율에 있어서 많은 비율이 발생되었으나, 퍼지 컨트롤러가 적용되어진 노드에서는 drop율 대신에 노드의 상태에 따라 서비스 수준이 적용되어지는 결과를 나타내었다. 따라서 일반 트래픽과 버스트 트래픽으로 분류하여 실험 환경 시나리오를 구성하였으며, 이에 따라 비퍼지 환경에서의 거부(reject)율은 40%, 27%, 12%로 나타났으나, 퍼지 컨트롤러 환경에서는 유입되어지는 트래픽에서 요구되어지는 정책과 네트워크의 상태에 따라 어드미션 요청에 대하여 수락/거부되는 대신에 네트워크 상황에 따라 퍼지 컨트롤러를 통해 적절한 적응값을 할당하여 줌으로써 패킷이 네트워크의 상황에 의해 유실되는 상황을 제거할 수 있었다.

**4.1 일반 트래픽 환경의 적응률**

(그림 11), (그림 12)는 퍼지와 비퍼지 환경에서 트래픽 증감율에 따른 거부와 수락(accept)율, 적응(adapt)과 수락(accept)율을 나타내고 있다. 그림에서 트래픽 증감율은 노드에서 처리되어지는 서비스율에 대한 유입되는 트래픽 도착율의 비율을 의미한다.

(그림 11) 비퍼지 환경에서의 트래픽 수락율

(그림 12) 퍼지 환경에서의 트래픽 수락율

퍼지 어드미션 제어기의 입력 변수들의 변화에 따른 적응도를 관찰하기 위하여 정책 테이블에서 입력 값으로 정의되어지는  $R_{th}$  등 다른 변수들은 고정값을 갖게 하고, 노드로부터 트래픽에 제공되어야 할  $R_r$  값을 변경하며 이에 따른 적응도를 측정하였다. 노드가 수용할 수 있는 처리용량에 가까운 처리량을 갖게 될 때 요청되는 서비스 수준에 대한 트래픽 적응도를 (그림 13), (그림 14)에서 보여준다. 비퍼지 환경에서 노드에 요구되어지는 트래픽의 수락율이 노드 처리 용량에 근접한 100Mbps 근처에서 임계치를 초과하는 트래픽에 대해서는 drop되는 현상을 보여준다. 유입되는 트래픽 증가율에 따라서 임계치에 도달하는 시간의 차가 발생하고 있으나, 노드 처리용량 임계치에 근접한 처리량 상태에서는 트래픽 수락에 대하여 같은 패턴을 보여준다. 즉, 노드에 유입되는 트래픽 증가율이 높을수록 요청되는 트래픽 정책의 어드미션 거부율이 높음을 보여준다.

(그림 13) 비퍼지 환경에서의 트래픽 적응도

(그림 14) 퍼지 환경에서의 트래픽 적응도

퍼지 환경에서는 유입되어지는 트래픽의 증가율에 따라 노드에서 요구되는 트래픽의 서비스 수준에 대한 적응 시기가 차이가 있음을 나타낸다. 트래픽의 증가율이 높을 때는 노드의 처리량의 임계치에 더 빨리 도달하기 때문에 퍼지 적응시기가 빨라짐을 나타낸다. (그림 13)에서 나타나는 임계치와 적응 지점의 간격은 퍼지 컨트롤러에 반영하는 어드미션 제어기의 룰에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. (그림 14)에서 80Mbps 근처에서 적응도를 나타내는 것은 노드에서의 유휴대역폭이 20Mbps 수준에 다다른 트래픽 정책들에 대해서는 그 요구 수준에 따라 적응 혹은 수락이 결정되기 때문에 나타나는 결과였다. 따라서 네트워크에서 요구되어지는 정책에 따라 퍼지 컨트롤러의 멤버쉽 함수정의를 통하여 제어결과를 최적화할 수 있도록 조정될 수 있다.

(그림 15) 비퍼지 환경의 버스트 트래픽 적응률

(그림 16) 퍼지 환경의 버스트 트래픽 적응률

입력 변수들의 값들을 조정하면서 나타나는 적응도를 나타내고 있다. 퍼지 제어기에서 노드의 상태에 영향을 주는 congestion 정도와 패킷의 drop율이 증가할 때, 버스트 트래픽에 대한 적응도는 비퍼지 환경이나 노드의 상태가 congestion 정도가 높을 때 보다 많은 적응 비율을 나타내고 있음을 보여주었다. 노드가 congestion 상태일 때 지속적으로 유입되어지는 트래픽 자원 요청에 대한 수락은 더 심각한 congestion을 유발할 수 있기 때문에 제어기에서는 더 높은 적응도를 선택하여 동작하고 있다.

(그림 17) 제어 구조에 따른 버스트 적응도

4.2 버스트 트래픽 환경의 적응률

(그림 15), (그림 16)에서는 입·출력 인터페이스에서의 서비스율의 차에 대한 적응과정에서 임의의 버스트 트래픽이 존재할 때 퍼지/비퍼지 환경에서 적응도를 나타내고 있다. 비퍼지 환경에서의 노드의 임계치 상황에서 거부되어지던 트래픽 정책들이 퍼지 환경에서는 적용되어지는 결과를 보여준다. (그림 17)는 퍼지/비퍼지 환경에서의 버스트한 트래픽에 대한 어드미션 제어 요청상황 하에서 제어 구조에 따른 적응도를 나타내고 있다.

시뮬레이션에서 다른 변수 값들을 변경시킬 때 특별한 적응도를 나타내지 않고 있다. 이는 초기 BEA에서의 트래픽 서비스 수준에 대한 출력값만을 제시하고, 현재의 네트워크의 상태에 따라 적응도가 결정되어지기 때문이었다. 즉, 네트워크의 congestion 정도와 loss율에 대한 변화를 통해 네트워크의 상태가 congestion을 나타내는 값으로 변화시킬 때 많은 적응도를 나타내었다. 즉 현저한 congestion 상태를 나타내고 있을 때 더 많은 적응도를 나타내는 결과를 나타내고 있다.

시뮬레이션을 통하여 본 논문에서 설계한 지능형 어드미션 컨트롤러의 입력값들과 출력값으로서의 적응결과와 상관관계를 볼 때, 정책 테이블에서 정의된 트래픽의 속성을 나타내는 입력 변수들은 FBE를 통해 트래픽의 서비스 수준을 결정하게 된다. 결정된 트래픽 서비스 수준은 현재의 네트워크 상태에 대한 입력 변수로서 현재의 노드에서 처리되고 있는 용량을 통해서, 현재의 노드 상황에 충분한 자원을 할당 가능한지 여부에 대하여 결정하게 된다. FAC에서는 현재 노드의 congestion 정도와 패킷의 drop율을 통하여 요청된 트래픽의 서비스 수준에 어느 정도 적응도가 적합할 수 있는지 적응도를 퍼지 추론에 의하여 출력하게 된다. FAC의 결정은 노드의 정책에 따라 반영된 룰에 의해 설계된 멤버쉽 함수의 정의에 의해서 적응도를 반영하게 된다. 시뮬레이션을 통해 정책 테이블에서 트래픽 플로우에 대한 속성들의 변화율은 전체 퍼지 제어기의 적응도 값에 큰 영향을 주지 않고 있음을 나타내었으며, 노드의 현재 상태와 FBE를 통해 정의된 요구 수준과의 상관관계를 통해서 적응도가 결정되고 있음을 보였다. 따라서 요구되어지는 트래픽 서비스의 정책은 노드의 상태를 반영하고 있음을 보였다. 퍼지 컨트롤러를 통해 출력되는 적응도는 노드에 유희대역폭이 존재할 경우는 비퍼지 환경에서와 같은 수락율을 보이고 있지만, 노드의 임계치에 가까운 처리량의 상황에서는 제어기의 적응값에 따라 동작함을 나타냈다. 따라서 노드에서의 평균 수락율을 높여줌에 따라 네트워크의 congestion 상태에서 발생할 수 있는 패킷 플로우의 drop에 의한 유실율을 감소시켜주고, 노드의 효율을 향상시켜줄 수 있었다.

(그림 18) 노드의 상태변화에 따른 버스트 적응도

(그림 19) 노드의 상태변화에 따른 버스트 적응도

(그림 18), (그림 19)는 버스트 트래픽에 대한 서비스가 요구되어질 때 노드의 상태에 영향을 주는 퍼지 제어기의



## 5. 결 론

본 논문에서는 정책기반의 IP 네트워크 관리구조에서 임의의 노드에 유입되어지는 트래픽에 대하여 퍼지 추론 방식을 사용한 어드미션 제어를 기존의 정의된 정책 요구수준과 네트워크의 상태에 따라 네트워크의 자원 할당을 결정하는 제어구조를 제안하였다. 이는 기존의 바이너리 방식의 정책 적용방식을 개선하여 사전에 정의된 임의의 QoS 정책에 대하여 예측할 수 없는 네트워크의 상태에 따라 적응적인 제어를 제공함으로써 네트워크의 자원을 효율적으로 사용할 수 있도록 하였다. 본 논문에서 설계한 퍼지 제어기를 통한 가상의 시뮬레이션 환경 아래에서 수행한 결과 비퍼지 환경에 비하여 트래픽의 패턴에 따라 평균 26%의 패킷 거부율을 향상하였고, 이는 퍼지 컨트롤러에 의해서 네트워크의 상태에 따라 비퍼지 환경에서의 수락/거부 동작이 아닌 소프트한 적응성을 보여주었기 때문이다.

퍼지 컨트롤러를 통해 출력되는 적응도는 노드에 유희대역폭이 존재할 경우는 비퍼지 환경에서와 같은 수락율을 보였지만, 노드 처리량의 임계치에 가까운 상황에서는 제어기의 적응값에 따라 동작함을 보여주었다. 따라서 노드에서의 평균 수락율을 높여줌에 따라 네트워크의 혼잡 상태에서 발생할 수 있는 패킷 플로우의 drop에 의한 유실율을 감소시켜주고, 노드의 처리 효율을 향상시켜줌을 보여주었다.

본 논문에서 설정한 퍼지 멤버십 함수의 설정값들은 실제 네트워크 상황에 적절하게 새로이 조정해야 할 것이며, 향후 네트워크의 상황에 따른 학습기능을 가지는 퍼지 제어구조로의 확장을 통해 실제 네트워크에 적용시 적합한 설정값들을 자동 조정 가능한 제어구조로 확장할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang and W. Weiss, "An Architecture for Differentiated Service," RFC2475, December, 1998.
- [2] S. Shenker, C. Partridge, and R. Guerin, "Specification of Guaranteed Quality of Service," RFC 2212, September, 1997.
- [3] J. Wroclawski, "Specification of the Controlled-Load Network Element Service," RFC 2211, September, 1997.
- [4] Dinesh C. Verma, "Policy-Based Networking : Architecture and Algorithms," New Riders, pp.139-181, November, 2000.
- [5] D. W. Tcha, C. Y. Jin, E. Lutz, "Link-by-Link Bandwidth Allocation in an Integrated Voice/Data Network Using The Fuzzy Set Approach," Computer Network and ISDN System, 16, pp.217-227, 1989.
- [6] Yao-Ching Liu and Christos Douligeris, "Nested Threshold Cell Discarding with Dedicated Buffers and Fuzzy Scheduling," Submitted to IEEE GLOBECOM, pp.429-432, 1996.
- [7] 정동성, 이용학, "ATM망에서 버퍼의 임계값 예측을 위한 퍼지 제어 알고리즘에 관한 연구", 한국통신학회 논문지 제27권 제7C호, pp.664-669, 2002.
- [8] A. Vasilakos and K. Anagnostakis, "Evolutionary-fuzzy prediction for strategic inter-domain routing: Architecture and mechanism," in WCCI 98, Anchorage, USA, May, 1998.
- [9] Marcial Porto Fernandez, et al., "QoS Provisioning across a DiffServ Domain using Policy-Based Management," IEEE Global Telecommunications Conference, 2001.
- [10] L. A. Zadeh, "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes," IEEE Trans. on Syst., Man and Cyb., Vol.SMC-3, No.1, 1973.
- [11] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets," Information and Control, Vol.8, pp.338-353, 1965.
- [12] N. Yin, S. Q. Li and T. E. Stern, "Congestion control for packet voice by selective packet discarding," IEEE Trans. Commun., pp.674-683, May, 1990.
- [13] R. G. Cheng and C. j. Chang, "Design of a fuzzy traffic controller for ATM network," IEEE/ACM Trans. Networking, Vol.4, No.3, pp.460-469, June, 1996.
- [14] James C. Bezdek, Sankar K. Pal, "Fuzzy Models For Pattern Recognition," IEEE Press, 1991.
- [15] R. Guerin, H. Ahmadi and M. Naghshineh, "Equivalent capacity and its application to bandwidth allocation in high-speed networks," IEE J. Select. Areas Commun., Vol.9, No.7, pp.968-981, September, 1991.
- [16] A. I. Elwalid and D. Mitra, "Effective bandwidth of general Markovian traffic sources and admission control of high speed network," IEEE/ACM Trans. Networking, Vol.1, No.3, pp.329-343, June, 1993.
- [17] G. Kesidis, J. Walrand and C. S. Chang, "Effective bandwidths for multiclass Markov fluids and other ATM source," IEEE/ACM Trans. Networking, Vol.1, No.4, pp. 424-428, August, 1993.
- [18] John C. Strassner, "Policy-Based Network Management: Solution for the Next Generation," MORGAN KAUFMANN, 2004.
- [19] R. Yavatkar, et al., "A Framework for Policy-based Admission Control," RFC 2753, January, 2000.
- [20] Chan, K., Durham, et al., "COPS Usage for Policy Provisioning," RFC 3084, March, 2001.
- [21] Allan Leinwand, et al., "Network Management : A Practical Perspective," ADDISON-WESLEY, 1996.

### 임 형 진

e-mail : hylim@rtlab.skku.ac.kr  
1998년 한림대학교 컴퓨터공학과(학사)  
2001년 성균관대학교 정보통신공학과  
(석사)  
2003년~현재 성균관대학교 대학원 컴퓨터  
공학과(박사과정)

관심분야 : 네트워크 관리, 네트워크 보안, 시스템 보안, IPv6,  
이동컴퓨팅

### 정 종 필

e-mail : jpjeong@ece.skku.ac.kr  
2003년 성균관대학교 컴퓨터공학과 졸업  
2003년~현재 성균관대학교 대학원 컴퓨터  
공학과(박사과정)  
관심분야 : 모바일 컴퓨팅, QoS, 보안

### 이 지 형

e-mail : jhlee@ece.skku.ac.kr  
1993년 한국과학기술원 전산학(학사)  
1995년 한국과학기술원 전산학(석사)  
1999년 한국과학기술원 전산학(박사)  
1996년~1997년 AIO Microservice사  
(파견 연구원)

2000년~2002년 Sri International(미) (방문연구원)  
2002년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 부교수  
관심분야 : 퍼지이론 및 응용, 인공지능, 진화연산

### 추 현 승

e-mail : choo@ece.skku.ac.kr  
1988년 성균관대학교 수학과(학사)  
1990년 Univ. of Texas at Dallas,  
컴퓨터공학 석사  
1996년 Univ. of Texas at Arlington,  
컴퓨터공학 박사

1997년 특허청 심사 4국 컴퓨터 분야 심사관  
1998년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 부교수  
관심분야 : 스토리지 시스템, 모바일 컴퓨팅, 네트워크

### 정 태 명

e-mail : tmchung@ece.skku.ac.kr  
1981년 연세대학교 전기공학과 졸업(학사)  
1984년 일리노이 주립대학 전자계산학과  
졸업(학사)  
1987년 일리노이 주립대학 컴퓨터공학과  
졸업(석사)

1995년 퍼듀 대학 컴퓨터공학 (박사)  
1984년~1987년 Waldner and Co., System Engineer  
1987년~1990년 Bolt Bernek and Newman Labs. Staff Scientist  
1995년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 부교수  
관심분야 : 실시간시스템, 네트워크 관리, 네트워크 보안, 시스  
템 보안, GRID 네트워크, 전자상거래